

پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های نفوذی جنوب غرب یزد

زارعی سهامیه رضا: دانشگاه لرستان
امینی صدرالدین: دانشگاه تربیت معلم تهران

(صفحه ۳۷-۴۰ و ۲۳ شماره ۱ جلد ۱)

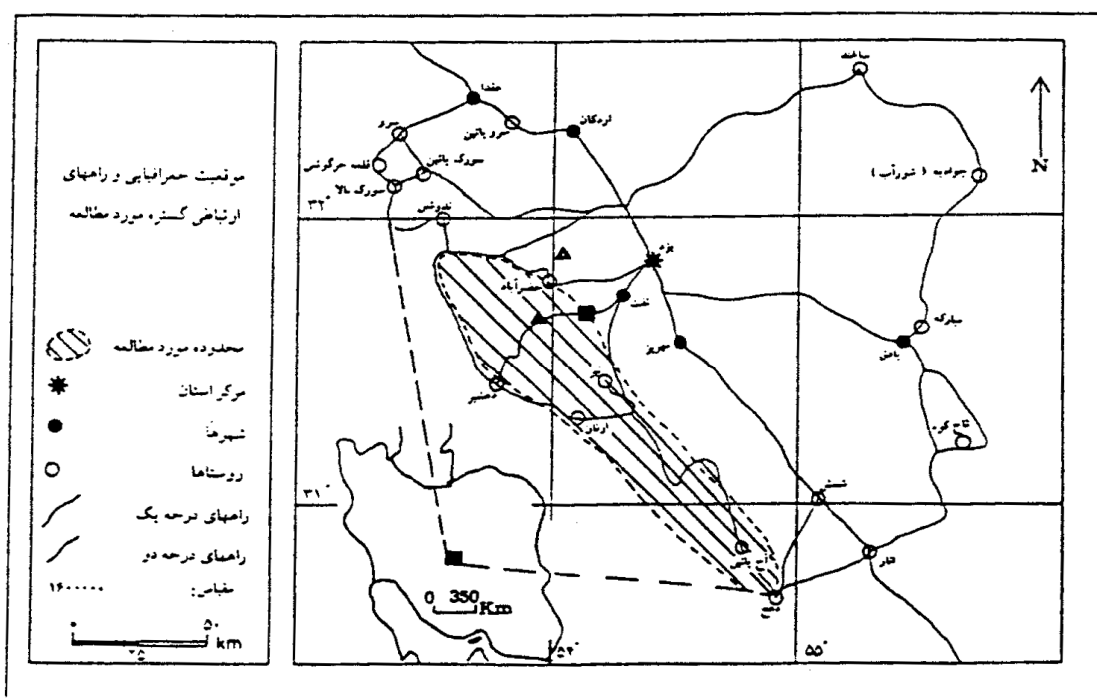
چکیده

در جنوب غرب یزد سه توده گرانیتوئیدی به اسامی باتولیت شیرکوه، کافی آباد و آدر بلندان رخنمون دارند. سن باتولیت شیرکوه، با توجه به این‌که سازند نایبند (تریاس فوقانی) را قطع کرده و سازندهای کرتاسه بر روی آن قرار گرفته، و به احتمال زیاد ژوراسیک است. به نظر می‌رسد اولین و مهمترین مرحله ماگماتیسم باشد که در ژوراسیک میانی (سیمری پسین) اتفاق افتاده است. از طرفی دگرگونی سنگ‌های آهکی کرتاسه در اطراف توده‌های نفوذی کافی آباد و آدر بلندان در اثر نفوذ گرانیت‌ها، دایک‌های دیوریتی و نیز تشکیل اسکارن‌های متعدد در آن‌ها نشان می‌دهد که توده‌های نفوذی کافی آباد و آدر بلندان طی فازهای کوهزایی بعدی جای‌گزین شده‌اند. بنا بر این باید گفت که باتولیت گرانیتوئیدی شیرکوه دارای محدوده وسیع پلوتونیزم طی زمان ژوراسیک است و مهمترین مرحله آن در ژوراسیک میانی اتفاق افتاده است بعلاوه به احتمال زیاد دو توده نفوذی کافی آباد و آدر بلندان به دلیل دگرگونی آهک‌های کرتاسه اطراف حداقل از کرتاسه زیرین جوان‌تر بوده و شاید هم دارای سن الیگو- میوسن باشند. در این سنگ‌ها کانی‌های کوارتز، آپاتیت، زیرکن، کوردیریت، آندالوزیت منیئیت و همتایت از کانی‌های فرعی عمده‌اند و مقادیر Na_2O ، SiO_2 ، CaO ، K_2O در نقاط مختلف توده‌های نفوذی متغیرند و غنی‌شدگی از عناصر Rb, K, Ba و تهی‌شدگی از Ti و Sr, Nb کاملاً مشاهده می‌شود، نمودارهای عنکبوتی این موضوع را نشان می‌دهد. از نظر ژئوشیمیایی دو نوع گرانیت I و S در منطقه قابل شناسایی است که نوع S از فراوانی بیش‌تری برخوردار است. از نظر پتانسیل اقتصادی کانی‌سازی مرمر، اسکارن، آهن- مس- سرب- روی و کانی‌های غیر فلزی نظیر کائولینیت نیز مشاهده می‌شود.

۱- موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی

توده‌های نفوذی شیرکوه، کافی آباد و آدر بلندان در جنوب غرب یزد و در محدوده جغرافیایی 30° و 53° تا 20° و 54° طول شرقی و 30° و 31° تا 52° و 31° عرض شمالی قرار گرفته‌اند (شکل ۱). در شرق شیرکوه بیش از ۱۰۰۰ متر سنگ آهک و دولومیت بر روی گرانیت‌ها دیده می‌شود که پرتگاه‌های گسلی و غیرگسلی فراوانی را به وجود آورده‌اند. در جنوب غرب تفت رسوبات آواری سازند سنگستان به سن ژوراسیک فوقانی [۲] و به رنگ قرمز ارغوانی دیده می‌شود و در بخش جنوبی تفت سنگ‌های آهکی خاکستری رنگ سازند تفت به چشم می‌خورد. قله مرتفع منطقه از سنگ‌های آهکی اربیتولین‌دار سازند تفت پوشیده شده که گسترش زیادی دارند. از

پدیده‌های مهم فرسایش در گرانیت‌های مورد بحث پدیده تافونی است. گرانیت شیرکوه سازند نایبند را قطع کرده و آهک‌های کرتاسه همراه با یک واحد ماسه سنگی و کنگلومرای (کرتاسه تحتانی) به طور دگر شیب بر روی آن قرار گرفته است. گرانیت شیرکوه از نظر سنی از سازند نایبند جوانتر و از سازندهای کرتاسه قدیم‌تر است. سن مطلقی که بر اساس داده‌های رادیومتریک برای آن پیشنهاد شده $13/5 \pm 17/5$ میلیون سال [۲۶] به روش K-Ar و 10 ± 176 میلیون سال [۱۵] با استفاده از روش Rb-Sr بوده است. سن توده‌های نفوذی کافی آباد و آدربلندان با توجه به دگرگونی آهک‌های کرتاسه و اسکارن‌سازی در آن‌ها بعد از کرتاسه زیرین (شاید هم الیگو-میوسن؟) است. بنا بر این می‌توان تشکیل گرانیت شیرکوه را به سیمین پسین نسبت داد و توده‌های نفوذی کافی آباد و آدربلندان را به فازهای کوهزایی بعدی مربوط دانست. آنچه مسلم است تا کنون سن‌های متفاوتی برای باتولیت گرانیتوئیدی شیرکوه عنوان شده است که بیان‌گر جای‌گزینی گرانیت در زمان‌های مختلف است. تعیین دقیق این موضوع مستلزم بررسی‌های دقیق سنجی ایزوتروپی بر روی اجزای مختلف گرانیت شیرکوه است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی توده‌های گرانیتوئیدی جنوب غرب یزد

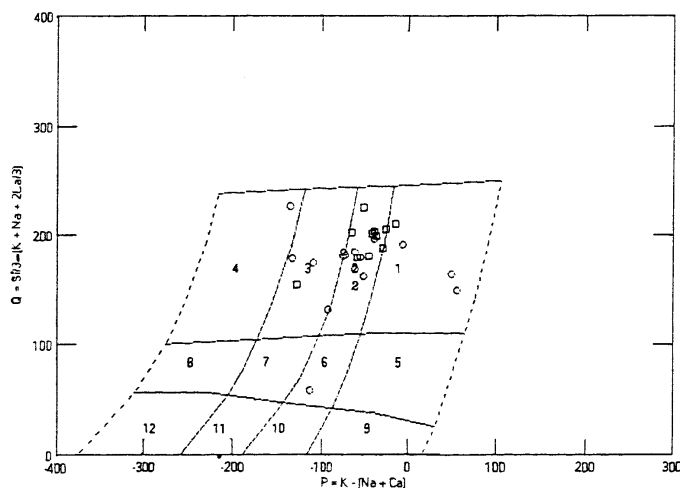
■ شیرکوه ▲ کافی آباد ▲ آدربلندان

حد تماس توده گرانیتوئیدی شیرکوه با سنگ‌های آهکی جمال به صورت میلیونیتی است و در بسیاری از نقاط نیز کانی‌سازی مرمر و اسکارن صورت گرفته است. به لحاظ تکنیکی و بر اساس تقسیم‌بندی واحدهای ساختمانی-رسوبی ایران [۶] باتولیت شیرکوه، کافی آباد و آدربلندان در زون ایران مرکزی قرار گرفته‌اند، ولی زمان جای‌گزینی و نوع رخداد تکنیکی مربوط به آنها متفاوت بوده است، بدین‌گونه که باتولیت شیرکوه طی فاز

کوه‌زایی سیمری پسین (ژوراسیک میانی) و توده‌های نفوذی کافی‌آباد و آدریلندان بعد از کرتاسه زیرین جای‌گزین شده‌اند. به طور کلی سنگ‌های گرانیتی بر اساس ترکیب شیمیایی، کانی‌شناسی و خاستگاه تکنونیک به انواع S و I, A, M تقسیم می‌شوند. در منطقه بررسی شده گرانیت‌ها را به دو نوع S و I و یا سری‌های ایلمنیت و منیتیت می‌توان تقسیم نمود که سری ایلمنیت معادل نوع S و سری منیتیت معادل نوع I است. گرانیت‌های نوع S (دومیکایی) که به گرانیت‌های رسوبی معروفند حاصل ذوب بخشی از مواد پوسته قاره‌ای است که نسبت ایزوتوپی $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ آنها بیش‌تر از 0.710 بوده و نیز دارای کانی‌های بیوتیت، گارنت، کوردیریت، مونازیت و کانی‌های اوپاک (ایلمنیت و کانی‌های سولفید) هستند. گرانیت‌های نوع I دارای منشأ ماگمایی‌اند که علاوه بر کانی‌های کوارتز، پلاژیوکلاز کانی‌های هورنبلند، تورمالین و کانی‌های اوپاک (ایلمنیت و کانی‌های سولفید) نیز دارند. این نوع گرانیت بیشتر با تونالیت‌های هورنبلند-بیوتیت‌دار دیده می‌شود. نسبت ایزوتوپی $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ آن‌ها از 0.708 کمتر است و عمدتاً با کانی‌زایی مس، مولیبدن، سرب، روی، طلا و نقره همراهند.

۲- پتروگرافی و کانی‌شناسی

در گستره پلوتونیزم جنوب غرب یزد به گرانیت‌هایی برخورد می‌کنیم که دانه ریز تا دانه درشتند و در آن‌ها هوازگی شدید سطحی و تغییر رنگ ناشی از هوازگی پیداست. حضور بیگانه سنگ‌های بیضوی و گرد به صورت لکه‌های تیره رنگ در این گرانیت‌ها به وفور دیده می‌شود. چنان‌که دایک‌های اسیدی و دولریتی در درون گرانیت‌ها و رگه‌هایی از نوع آپلیت - پگماتیت حاوی تورمالین هم می‌توان مشاهده کرد. توده‌های کوچک ولکانیکی به صورت گنبد‌های داسیتی و ریولیتی، گدازه‌ها و توفهای تراکیتی و آندزیتی و ندرتاً آندزیت بازالتی در هم‌بندی با گرانیت‌ها و در مجاورت گسل‌ها (بخصوص گسل ده‌شیر - بافت با روند شمال غرب - جنوب شرق) دیده می‌شود [۳] بر اساس طبقه‌بندی مودال و نمودار Q-P [۱۳] سنگ‌های منطقه از نوع گرانیت، آداملیت، گرانودیوریت، تونالیت، کوارتز سینیت و کوارتز مونزونیت‌اند (شکل ۲).



شکل ۲. نمودار Q-P دیون و لغورات (۱۹۸۸) و سنگ‌های آذرین منطقه بر روی آن
 ۱- گرانیت ۲- آداملیت (گرانیت کالکو آکالن)
 ۳- گرانودیوریت ۴- تونالیت
 ۵- کوارتز سینیت ۶- کوارتز مونزونیت
 □ نمونه‌های شیرکوه
 ○ نمونه‌های کافی‌آباد و آدریلندان

کانی‌های اصلی سنگ‌ها شامل کوراتز، پلاژیوکلاز (آلبیت، الیگوکلاز و آندزین)، ارتوز و میکا (بیوتیت و به مقدار خیلی کم موسکویت) هستند. پلاژیوکلازها ساختی منطقه‌ای نشان می‌دهند، که بیان‌گر افت سریع فشار و تغییرات ترمودینامیکی محیط تبلور است [۲۸]، [۱۰] تغییرات مذکور احتمالاً موجب تغییر در ترکیب شیمیایی زون‌های مختلف پلاژیوکلاز شده است؛ زیرا که زونینگ معکوس در بعضی از پلاژیوکلازها دیده می‌شود (نمونه 18^{gk}). در مقاطع نازک دو نسل پلاژیوکلاز و گاهی نیز بیش‌تر دیده می‌شود. کانی‌های فرعی موجود در سنگها آپاتیت، زیرکن (ادخال در بیوتیت)، اسفن، تورمالین، اسپینل (نوع هر سینیت)، گارنت [۴] همتایت و منیتیت هستند. در گرانیتوئید شیرکوه کوردیریت، آندالوزیت و سیلیمانیت نیز وجود دارد در حالی که توده‌های نفوذی کافی‌آباد و آدربلندان فاقد آن‌ها هستند. در اسکارن‌هایی که در مجاورت دو توده مورد اشاره تشکیل شده اپیدوت، دیوپسید، گرونا (آندرادیت)، کلریت (شاموزیت)، سرپانتین (لیزاردیت)، فلوگوپیت و زونیزیت دیده می‌شود. کانی‌های مذکور در اسکارن‌ها توسط مطالعه مقاطع نازک و روش آزمایشگاهی X.R.D تعیین شده‌اند. عمده‌ترین بافت‌های شناخته شده در سنگ‌های فوق بافت‌های گرانولر، گرافیک (گرانوفیر)، اریکولار، پرتیت، آنتی‌پرتیت و پورفیروئیدند. آلتراسیون‌های عمده در رابطه با گرانیت‌ها عبارتند از: سریستیزاسیون، سوسوریتیزاسیون، کلریتیزاسیون و سرپانتینیزاسیون، سرپانتینیزاسیون در هاله دگرگونی مجاورتی قابل رویت است. بررسی مقاطع نازک انکلاوهای موجود در گرانیت‌ها، نشان می‌دهد نقاطی که در درون گرانیت به صورت لکه‌های سیاه رنگ دیده می‌شوند عمدتاً تجمعی از بیوتیت‌های دانه‌ریز همراه با کوراتز، پلاژیوکلاز و فلدسپات آلکالن است که همبري آن‌ها با گرانیت حالت انتقالی را تایید می‌کند. این حالت می‌تواند احتمالاً حاکی از همزاد بودن انکلاوهای مذکور با گرانیت‌ها باشد [۱]. علاوه بر این‌ها، انکلاوهایی دیده شده است که بافت هورنفلسی دارند و ترکیب بازیکی را نشان می‌دهند [۵]. البته انکلاوها می‌توانند رستیت‌های باقیمانده از سنگ اولیه طی تحولات فرا متامورفیسم باشند.

۳ - خصوصیات ژئوشیمیایی

به منظور بررسی ژئوشیمیایی و تعیین نوع گرانیت باتولیتی شیرکوه و سایر توده‌های نفوذی، از میان نمونه‌های برداشت شده از ناحیه، ۴۰ نمونه مناسب انتخاب و بعد از آماده سازی، اکسیدهای عناصر اصلی (جدول ۱) و کمیاب آن‌ها (جدول ۲) به روش X.R.F تعیین شده‌اند. ۱۴ نمونه نیز به منظور شناخت دقیق هاله دگرگونی مجاورتی و تشخیص دقیق نوع کانی‌های آن مورد تجزیه X.R.D قرار گرفته‌اند (جدول ۳). برای تعیین ترکیب شیمیایی دقیق کانی‌ها در هاله دگرگونی مجاورتی و تغییرات ترکیب شیمیایی آن‌ها، سه نمونه سنگ اسکارنی به کانادا ارسال شد و مورد تجزیه نقطه‌ای (میکروپراب) قرار گرفت (جدول ۴). درصد تغییرات در باتولیت گرانیتوئیدی شیرکوه عبارتست از: SiO_2 از ۵۲/۲۵ تا ۷۴/۱۲، Al_2O_3 از ۱۲/۰۳ تا ۲۴/۰۸، FeO

از Fe_2O_3 ، $۴/۱۴$ تا $۱/۰۷$ تا MgO ، $۳/۵۱$ از $۰/۰۵$ تا $۰/۶۴۳$ CaO از $۰/۴۱$ تا $۷/۸۷$ K_2O از $۲/۱۵$ تا $۵/۸۵$ Na_2O از $۱/۷۱$ تا $۴/۹$ P_2O_5 از $۰/۱۵$ تا $۰/۱۶$ MnO از $۰/۰۲$ تا $۰/۱۲$ و سرانجام TiO_2 از $۰/۱۱$ تا $۱/۱۸$ (جدول ۱ الف). درصد کم آلومین ($۱۲/۰۳$ درصد) در دیوریت کوراتر دار (نمونه G_1) و مقدار بالایی این اکسید ($۲۴/۵۸$ درصد) در دیوریت (نمونه B_7) و نیز تغییرات شدید MgO ($۰/۰۵$ تا $۶/۴۳$) بیانگر جدایش کانی‌های فرومیزین در بخش‌های تحتانی و پلاژیوکلاز در بخش‌های فوقانی است که نتیجه تفریق ماگمایی‌اند. درصد تغییرات در توده نفوذی کافی‌آباد به این ترتیب است: SiO_2 از $۵۸/۲۴$ تا $۷۴/۷۷$ Al_2O_3 از $۱۳/۰۸$ تا $۱۵/۲۵$ FeO از $۱/۲$ تا $۵/۵۲$ Fe_2O_3 از $۰/۸۶$ تا $۲/۴۱$ MgO از $۰/۲۸$ تا $۳/۶۵$ CaO از $۰/۲۶$ تا $۶/۳۷$ K_2O از $۱/۹۴$ تا $۸/۲۱$ Na_2O از $۲/۹۶$ تا $۴/۸۸$ P_2O_5 از $۰/۱۱$ تا $۰/۲۶$ MnO از $۰/۰۰۸$ تا $۰/۱۹$ و سرانجام TiO_2 از $۰/۱۸$ تا $۰/۸۶$ (جدول ۱ ب) و درصد تغییرات در توده گرانیتیوئیدی آدربلندان SiO_2 از $۵۶/۱۰$ تا $۷۴/۰۶$ Al_2O_3 از $۱۳/۲۸$ تا $۱۵/۹۴$ FeO از $۰/۷۴$ تا $۶/۱۳$ Fe_2O_3 از $۰/۹۸$ تا $۲/۵۴$ MgO از $۰/۲۲$ تا $۴/۱۶$ CaO از $۰/۸۴$ تا $۱۰/۱۲$ K_2O از $۲/۱۱$ تا $۶/۸۷$ Na_2O از $۱/۱۸$ تا $۴/۴۴$ P_2O_5 از $۰/۲۷$ تا $۰/۲۶۵$ MnO از $۰/۱۳$ تا $۰/۱۸۶$ و سرانجام TiO_2 از $۰/۰۸$ تا $۰/۰۱$ است (جدول ۱ ج).

جدول ۱. نتایج تجزیه شیمیایی چند نمونه از سنگ‌های مختلف توده‌های نفوذی جنوب غرب یزد
(شیرکوه، کافی‌آباد و آدربلندان) الف: شیرکوه ب: کافی‌آباد ج: آدربلندان
روش X.R.F. ارقام برحسب درصد وزنی هستند

| اکسیدها ش. نمونه | SiO_2 | Al_2O_3 | CaO | K_2O | Fe_2O_3 | FeO | Na_2O | MgO | TiO_2 | P_2O_5 | MnO | Total |
|---------------------|----------------|-------------------------|--------------|----------------------|-------------------------|--------------|-----------------------|--------------|----------------|------------------------|--------------|--------|
| B_1 | ۷۴/۱۲ | ۱۳/۴۱ | ۰/۶۲ | ۵/۱۹ | ۱/۰۷ | ۰/۸۷ | ۳/۲۵ | ۰/۱۱ | ۰/۱۱ | ۰/۱۱ | ۰/۰۲ | ۹۸/۸۸ |
| B_2 | ۷۰/۹۲ | ۱۴/۶۷ | ۲/۸۲ | ۳/۷۲ | ۱/۷۳ | ۱/۶۶ | ۳/۱۳ | ۰/۲۲ | ۰/۴ | ۰/۱۳ | ۰/۰۶ | ۹۹/۴۶ |
| B_3 | ۷۱/۳۷ | ۱۳/۹۲ | ۲/۴۱ | ۴/۱۲ | ۲/۲۱ | ۲/۰۴ | ۲/۵۹ | ۰/۷۷ | ۰/۵۵ | ۰/۱۲ | ۰/۰۶ | ۱۰۰/۱۶ |
| B_4 | ۷۰/۷۸ | ۱۴/۱۱ | ۲/۸۲ | ۴/۰۴ | ۲/۴۹ | ۲/۳۰ | ۲/۸۵ | ۰/۸۲ | ۰/۶۹ | ۰/۱۵ | ۰/۰۶ | ۱۰۰/۹۷ |
| B_5 | ۶۵/۹۱ | ۱۶/۱۵ | ۴/۴۵ | ۳/۹۲ | ۲/۷ | ۲/۵۹ | ۲/۹۹ | ۰/۹۶ | ۰/۸۲ | ۰/۱۶ | ۰/۰۸ | ۱۰۰/۷۳ |
| B_7 | ۵۲/۲۵ | ۲۴/۵۸ | ۷/۸۷ | ۲/۳۸ | ۲/۹۷ | ۴/۱۴ | ۴/۹ | ۰ | ۱/۱۸ | ۰/۲ | ۰/۱۲ | ۱۰۰/۵۹ |
| B_{10} | ۶۷/۹ | ۱۶/۲۴ | ۴/۱۸ | ۲/۱۵ | ۲/۳۱ | ۲/۶۱ | ۳/۲۳ | ۰/۰۸ | ۰/۷۲ | ۰/۱۵ | ۰/۰۸ | ۹۹/۴۷ |
| B_{12} | ۶۰/۱۷ | ۱۳/۸۳ | ۰/۸۳ | ۵/۸۵ | ۳/۴۳ | ۳/۳۰ | ۱/۷۶ | ۵/۴۵ | ۰/۹۹ | ۰/۱ | ۰/۱۱ | ۹۵/۸۲ |
| B_{18} | ۵۸/۲۷ | ۱۳/۶ | ۰/۴۱ | ۵/۱۲ | ۳/۵۱ | ۳/۶۴ | ۱/۷۱ | ۶/۴۳ | ۱/۱۶ | ۰/۱۳ | ۰/۱۲ | ۹۴/۱ |
| A_4 | ۷۴/۲ | ۱۲/۳ | ۱/۱۳ | ۳/۴۴ | ۱/۵۷ | ۰/۲۳ | ۳/۲۱ | ۱/۵۴ | ۰/۲۵ | ۰/۱۱ | ۰/۰۴ | ۱۰۰/۲ |
| G_1 | ۶۷/۷ | ۱۲/۰۳ | ۴/۴ | ۲/۹ | ۲/۰۷ | ۳/۹۱ | ۳/۳۹ | ۱/۳۶ | ۰/۵۲ | ۰/۱۳ | ۰/۰۹ | ۹۸/۵ |
| G_4 | ۷۱/۶ | ۱۲/۰۶ | ۱/۴۵ | ۳/۸۵ | ۱/۹۳ | ۲/۷۱ | ۲/۹۷ | ۱/۹۱ | ۰/۴۳ | ۰/۱۲ | ۰/۰۷ | ۹۹/۱۰ |

(الف)

| اکسیدها ش. نمونه | SiO_2 | Al_2O_3 | CaO | K_2O | Fe_2O_3 | FeO | Na_2O | MgO | TiO_2 | P_2O_5 | MnO | Total |
|---------------------|----------------|-------------------------|--------------|----------------------|-------------------------|--------------|-----------------------|--------------|----------------|------------------------|--------------|-------|
| Gk_1 | ۶۹/۱۰ | ۱۳/۸۹ | ۲/۸۵ | ۳/۸۷ | ۱/۸۸ | ۱/۲۶ | ۳/۶۱ | ۱/۳ | ۰/۳۸ | ۰/۱۱ | ۰/۰۶۴ | ۹۸/۳۱ |
| Gk_8 | ۶۷/۶۵ | ۱۳/۸۹ | ۳/۳۸ | ۳/۵۱ | ۱/۹ | ۱/۲ | ۳/۴۷ | ۱/۳۸ | ۰/۴ | ۰/۱۲۵ | ۰/۰۶۱ | ۹۶/۹۶ |
| Gk_{12} | ۶۶/۵۴ | ۱۳/۹۷ | ۳/۵۵ | ۳/۶۸ | ۲ | ۱/۵۲ | ۳/۴۶ | ۱/۴۲ | ۰/۴۵ | ۰/۱۴۱ | ۰/۰۷ | ۹۸/۸ |
| Gk_{14} | ۵۸/۲۴ | ۱۵/۱۳ | ۶/۳۷ | ۱/۹۴ | ۲/۴۱ | ۵/۵۲ | ۳/۹۸ | ۳/۶۵ | ۰/۸۶ | ۰/۲۶ | ۰/۱۹ | ۹۸/۵۵ |
| Gk_{22} | ۷۴/۷۷ | ۱۳/۰۸ | ۰/۲۶ | ۳/۸۶ | ۰/۸۶ | - | ۴/۸۸ | ۰/۲۸ | ۰/۱۸ | ۰/۱۱۴ | ۰/۰۰۸ | ۹۸/۲۹ |
| Gk_{25} | ۶۲/۳۹ | ۱۵/۲۵ | ۳/۳۷ | ۸/۲۱ | ۱/۹۹ | ۱/۱۸ | ۲/۹۶ | ۱/۳۹ | ۰/۴۹ | ۰/۱۷۲ | ۰/۰۸۸ | ۹۷/۴۹ |
| Gk_{16} | ۶۸/۶۳ | ۱۳/۹۶ | ۳/۵۳ | ۳/۶۹ | ۱/۹۹ | ۱/۵۳ | ۳/۴۶ | ۱/۴۲ | ۰/۴۴ | ۰/۱۴۳ | ۰/۰۸۶ | ۹۸/۸۶ |
| Gk_{17} | ۶۹/۱۵ | ۱۳/۸۷ | ۲/۸۶ | ۳/۸۸ | ۱/۸۹ | ۱/۲۶ | ۳/۶۰ | ۱/۲۹ | ۰/۳۹ | ۰/۱۱۴ | ۰/۰۶۳ | ۹۸/۳۷ |

(ب)

(ادامه جدول ۱)

| اکسیدها ش. نمونه | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | CaO | K ₂ O | Fe ₂ O ₃ | FeO | Na ₂ O | MgO | TiO ₂ | P ₂ O ₅ | Mno | Total |
|---------------------|------------------|--------------------------------|-------|------------------|--------------------------------|------|-------------------|------|------------------|-------------------------------|-------|-------|
| AD ₆ | ۵۶/۱۰ | ۱۳/۷۳ | ۷/۳۸ | ۲/۲۶ | ۲/۴۹ | ۶/۱۳ | ۲/۶۷ | ۴/۱۶ | ۰/۹۹ | ۰/۲۶۵ | ۰/۱۶۹ | ۹۶/۳۴ |
| AD ₁₀ | ۷۴/۰۶ | ۱۳/۵۷ | ۰/۸۴ | ۶/۱۳ | ۰/۹۸ | — | ۳/۲۰ | ۰/۲۲ | ۰/۰۸ | ۰/۰۲۷ | ۰/۰۱۳ | ۹۹/۱۲ |
| AD ₁₂ | ۷۳/۲۹ | ۱۳/۲۸ | ۰/۸۶ | ۲/۹۶ | ۱/۶۹ | ۰/۷۴ | ۴/۴۴ | ۰/۵۷ | ۰/۱۹ | ۰/۰۶۴ | ۰/۰۲۴ | ۹۸/۱۰ |
| AD ₁₅ | ۶۰/۳۸ | ۱۵/۸۲ | ۶/۵ | ۲/۲۸ | ۲/۳۶ | ۴/۲ | ۳/۴۹ | ۳/۳۱ | ۰/۸۱ | ۰/۲۶ | ۰/۱۲۸ | ۹۹/۵۴ |
| AD ₂₆ | ۵۹/۷ | ۱۳/۹۸ | ۷/۱۸ | ۲/۱۱ | ۲/۳۷ | ۴/۸۱ | ۲/۷۱ | ۳/۰۴ | ۰/۸۱ | ۰/۲۱ | ۰/۱۲۴ | ۹۷/۰۴ |
| AD ₂₇ | ۶۲/۰۱ | ۱۴/۵۷ | ۵/۶۵ | ۲/۹۱ | ۲/۲۴ | ۳/۸۶ | ۲/۹۳ | ۲/۹۲ | ۰/۷ | ۰/۱۸۵ | ۰/۱۱۲ | ۹۸/۰۸ |
| AD ₂₉ | ۶۲/۱۲ | ۱۵/۹۴ | ۵/۳۱ | ۲/۹۰ | ۲/۰۴ | ۲/۷۴ | ۳/۱۶ | ۲/۰۴ | ۰/۵۴ | ۰/۱۶ | ۰/۰۸۴ | ۹۷/۰۴ |
| AD ₃₇ | ۵۸/۴۷ | ۱۳/۷۶ | ۱۰/۱۲ | ۶/۸۷ | ۲/۲۱ | ۳/۲۶ | ۱/۱۸ | ۱/۷۸ | ۰/۶۷ | ۰/۱۵۹ | ۰/۱۸۶ | ۹۸/۶۶ |
| AD ₃₉ | ۵۷/۶۵ | ۱۴/۴۶ | ۶/۱۲ | ۲/۷۳ | ۲/۵۴ | ۵/۷۲ | ۲/۹۲ | ۳/۸۶ | ۱/۰۱ | ۰/۲۵ | ۰/۱۶ | ۹۷/۴۲ |

جدول ۲. نتایج تجزیه شیمیایی عناصر کمیاب سنگ‌های مگمایی: الف: شیر کوه ب: کافی آباد ج: آدربلندان
به روش X.R.F. ارقام برحسب پی پی ام هستند

| عناصر کمیاب ش. نمونه | Sr | Rb | Ba | Zn | Ce | La | Zr | Cu | V | Ni |
|-------------------------|-----|-----|------|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| B ₁ | ۶ | ۲۵۰ | ۲۸۹ | ۶۴ | ۴۹ | ۱۰ | ۴۴ | ۱۸ | ۱۲ | ۲ |
| B ₂ | ۱۰۰ | ۱۶۰ | ۸۷۴ | ۳۰ | ۵۴ | ۲۱ | ۱۵۳ | ۱۵ | ۳۸ | ۱۰ |
| B ₃ | ۸۹ | ۱۶۱ | ۸۲۵ | ۷۸ | ۶۱ | ۳۴ | ۱۷۵ | ۳۶ | ۴۸ | ۱۳ |
| B ₄ | ۱۴۲ | ۱۳۳ | ۱۰۶۹ | ۳ | ۷۱ | ۵۱ | ۱۹۶ | ۲۱ | ۷۹ | ۱۸ |
| B ₅ | ۱۶۴ | ۱۴۱ | ۱۲۰۷ | ۲ | ۶۷ | ۴۱ | ۲۰۸ | ۲۰ | ۱۰۵ | ۱۹ |
| B ₇ | ۱۷۵ | ۱۱۹ | ۳۳۳۷ | ۵ | ۶۴ | ۳۳ | ۵۳ | ۱۵۹ | ۴۸۳ | ۲۲۹ |
| B ₁₀ | ۱۶۴ | ۱۳۴ | ۱۱۵۱ | ۲ | ۵۸ | ۳۰ | ۱۸۷ | ۲۷ | ۹۱ | ۲۰ |
| B ₁₅ | ۱۲۷ | ۶۳ | ۴۲۵ | ۴ | ۶۰ | ۴۳ | ۲۵۰ | ۴۶ | ۶۵ | ۵۷ |
| B ₁₆ | ۱۲۴ | ۱۶۸ | ۱۰۰۰ | ۱۸ | ۶۷ | ۴۵ | ۱۸۲ | ۱۷ | ۵۵ | ۱۳ |
| B ₁₇ | ۸۲ | ۱۲۵ | ۱۰۹۲ | ۲ | ۹۹ | ۸۳ | ۲۰۰ | ۳۳ | ۱۵۶ | ۵۰ |
| B ₁₈ | ۷۶ | ۱۰۵ | ۸۴۸ | ۵ | ۷۰ | ۴۹ | ۱۸۸ | ۲۵ | ۷۷ | ۵۱ |
| A ₄ | ۸ | ۲۲۰ | ۳۶۰ | ۵۴ | ۵۲ | ۱۸ | ۴۸ | ۲۲ | ۲۵ | ۵ |
| G ₁ | ۳۰۵ | ۲۱۳ | ۷۱۴ | ۱۲۲ | ۴۲ | ۱۸ | ۱۶۸ | ۲۵ | ۸۲ | ۲۲ |
| G ₄ | ۱۴۳ | ۲۹۶ | ۹۷۹ | ۱۱۸ | ۵۵ | ۲۸ | ۱۸۲ | ۲۵ | ۳۸ | ۱۲ |

(الف)

| عناصر کمیاب ش. نمونه | Zr | Sr | U | Rb | Pb | Zn | Cu | Ni | Co | Ce | Y | Nd | Nb | Hf | Cl | Ga | Ag | La | Th | W | F | V | Cr | S | Ba |
|-------------------------|-----|-----|---|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|-----|
| gk ₁ | ۱۳۷ | ۱۷۵ | ۳ | ۱۴۶ | ۱۸ | ۳۲ | ۸ | ۱۰ | ۵ | ۴۵ | ۳۸ | ۳۱ | ۴۸ | ۲ | ۳۸۸ | ۱۶ | ۰ | ۵۰ | ۱۷ | ۰ | ۱۱۴ | ۵۵ | ۱۰۳ | ۱۲۰ | ۴۹۹ |
| gk ₈ | ۱۲۶ | ۱۸۳ | ۲ | ۱۳۸ | ۱۴ | ۳۶ | ۰ | ۰ | ۸ | ۵۰ | ۳۷ | ۱۷ | ۴۶ | ۲ | ۳۵۱ | ۱۷ | ۰ | ۳۶ | ۱۱ | ۰ | ۴۴ | ۵۹ | ۶۲ | ۷۳ | ۴۶۰ |
| gk ₁₂ | ۱۴۴ | ۱۹۹ | ۲ | ۱۳۳ | ۱۸ | ۴۱ | ۸ | ۱۰ | ۵ | ۴۴ | ۳۶ | ۹ | ۳۷ | ۴ | ۶۷۱ | ۱۹ | ۰ | ۳۶ | ۱۳ | ۱ | ۴۰۵ | ۵۸ | ۶۸ | ۷۷ | ۵۲۵ |
| gk ₁₄ | ۱۷۵ | ۲۰۰ | ۳ | ۱۲۵ | ۱۵ | ۷۳ | ۱۹ | ۱۰ | ۲۸ | ۸۳ | ۸۶ | ۲۳ | ۷۱ | ۵ | ۷۶۱ | ۲۱ | ۰ | ۳۵ | ۷ | ۸ | ۶۵۰ | ۱۲۳ | ۳۱ | ۸۳ | ۲۹۹ |
| gk ₂₂ | ۱۰۵ | ۲۵ | ۲ | ۱۱۰ | ۹ | ۱۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۱۴ | ۴۷ | ۲۸ | ۳۲ | ۴ | ۶۶۱ | ۲۰ | ۰ | ۲۲ | ۲۲ | ۳ | ۴۶۰ | ۱۲ | ۰ | ۴۴ | ۲۶۹ |
| gk ₂₅ | ۱۵۷ | ۲۸۰ | ۲ | ۱۹۳ | ۱۶ | ۳۰ | ۱۵ | ۴ | ۲ | ۱۱ | ۴۵ | ۸ | ۴۲ | ۵ | ۴۶۷ | ۱۶ | ۰ | ۱۹ | ۵ | ۰ | ۱۳۱ | ۵۸ | ۸ | ۵۰ | ۹۶۰ |
| gkc ₁₆ | ۱۴۵ | ۱۹۵ | ۳ | ۱۳۱ | ۱۸ | ۴۲ | ۹ | ۱۱ | ۴ | ۴۴ | ۳۷ | ۸ | ۳۸ | ۳ | ۶۷۵ | ۲۰ | ۰ | ۳۷ | ۱۴ | ۰ | ۳۹۵ | ۵۹ | ۶۶ | ۷۶ | ۵۲۳ |
| gkc ₁₇ | ۱۳۶ | ۱۷۳ | ۴ | ۱۵۰ | ۱۶ | ۳۱ | ۷ | ۱۰ | ۵ | ۴۶ | ۳۹ | ۲۹ | ۴۸ | ۲ | ۳۹۰ | ۱۶ | ۱ | ۵۲ | ۱۶ | ۰ | ۱۱۹ | ۵۶ | ۱۰۲ | ۱۲۲ | ۵۰۳ |

(ب)

| ردیف | نام نمونه | کانی |
|------|-------------------|---|
| ۱ | gk ₁₂ | شاموزیت - منیتیت - ایلیت |
| ۲ | gk ₁₃ | بروسیت - کلسیت - دولومیت |
| ۳ | gk ₁₅ | کلسیت - گائولینیت - دولومیت - لیزاردیت |
| ۴ | gk ₁₆ | کلسیت - لیزاردیت - ژیس |
| ۵ | gk ₁₉ | اوژیت - فلوگوپیت - ایلیت - اپیدوت |
| ۶ | gkc ₁₅ | کوارتز - آلپیت - گائولینیت - موسکویت - فرواکتینولیت |
| ۷ | gkc ₂₃ | کلسیت - دولومیت - لیزاردیت |
| ۸ | gkc ₂₄ | تالک - فلوگوپیت - فورستریت - آندرادیت |
| ۹ | gkc ₂₆ | اسکاپولیت - زئولیت - سرپانتین - منیتیت - کلسیت |
| ۱۰ | AD ₁₂ | کوارتز - آلپیت - تورمالین - کلریت - کلسیت |
| ۱۱ | AD ₃₅ | آندرادیت - کلسیت - منیتیت |
| ۱۲ | AD ₃₆ | کلسیت - آندرادیت - کوارتز |

جدول ۳: کانی‌های سنگهای اسکارنی هاله دگرگونی مجاورتی به روش X. R. D

| ش. نمونه | کانی | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | MgO | CaO | Cr ₂ O ₃ | MnO | FeO _t | Na ₂ O | K ₂ O | F | Cl | Total |
|-------------------|-----------|------------------|------------------|--------------------------------|-------|-------|--------------------------------|------|------------------|-------------------|------------------|------|------|-------|
| gk ₁₇ | ترمولیت | ۵۷/۷۳ | ۰/۱۱ | ۱/۷۱ | ۲۳/۲۴ | ۱۳/۵۸ | ۰/۰۶ | ۰/۱۴ | ۱/۸۸ | ۰/۳۴ | ۰/۱۴ | n.a | n.a | ۹۸/۹۳ |
| | آکتینولیت | ۵۵/۷۳ | ۰/۰۸ | ۱/۹ | ۲۲/۷ | ۱۳/۶۷ | ۰/۰۴ | ۰ | ۴/۷۴ | ۰/۳۸ | ۰/۱۲ | n.a | n.a | ۹۹/۳۶ |
| | زمینه | ۱۰۰/۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰/۰۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | n.a | n.a | ۱۰۰/۱ |
| | اوژیت | ۵۶/۴۵ | ۰/۰۷ | ۲/۵ | ۲۲/۶ | ۱۳/۳۸ | ۰/۰۸ | ۰/۰۶ | ۳/۷۷ | ۰/۷ | ۰ | n.a | n.a | ۹۹/۶۱ |
| AD ₃₄ | آندرادیت | ۳۶/۹۲ | ۱/۶۷ | ۱۶/۲۲ | ۳/۳ | ۳۶/۴۱ | ۰/۱۳ | ۰ | ۴/۲۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۹۸/۹۱ |
| | دیوپسید | ۵۳/۴۶ | ۰/۱۲ | ۰/۰۹ | ۱۹/۲۱ | ۲۵/۵۸ | ۰ | ۰/۱۸ | ۱/۲۸ | ۰ | ۰ | n.a | n.a | ۹۹/۹۲ |
| | زمینه | ۰ | ۰/۰۴ | ۰ | ۱۷/۹۹ | ۳۸/۶۳ | ۰/۱۱ | ۰ | ۲/۲۴ | ۰/۰۲ | ۰/۰۳ | n.a | n.a | ۵۹/۰۶ |
| gkc ₂₄ | فلوگوپیت | ۳۸/۵۶ | ۰/۳۲ | ۱۷/۸۷ | ۲۵/۵ | ۰/۰۴ | ۰/۰۷ | ۰ | ۱/۱۵ | ۰/۲۹ | ۱۰/۴۳ | ۲/۰۸ | ۰/۱۸ | ۹۶/۴۹ |
| | فلوگوپیت | ۳۹/۱۲ | ۰/۲۹ | ۱۸/۱۶ | ۲۵/۲۵ | ۰ | ۰/۰۹ | ۰ | ۱/۱۶ | ۰/۳۳ | ۱۰/۵۴ | ۱/۹۴ | ۰/۱۴ | ۹۷/۰۲ |
| | فلوگوپیت | ۳۸/۹۵ | ۰/۲۲ | ۱۸/۱۴ | ۲۵/۲۷ | ۰ | ۰/۰۷ | ۰ | ۱/۲۴ | ۰/۳۱ | ۱۰/۴۵ | ۱/۹۸ | ۰/۱۹ | ۹۶/۸۲ |
| | فورستریت | ۴۰/۹۲ | ۰/۱۱ | ۰ | ۵۴/۱۹ | ۰/۰۶ | ۰ | ۰/۱۵ | ۴/۰۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۹۹/۹۴ |
| | زمینه | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۵/۱ | ۳۷/۵۳ | ۰/۱۳ | ۰ | ۵/۳۵ | ۰/۰۴ | ۰/۰۳ | ۰ | ۰ | ۵۸/۱۸ |

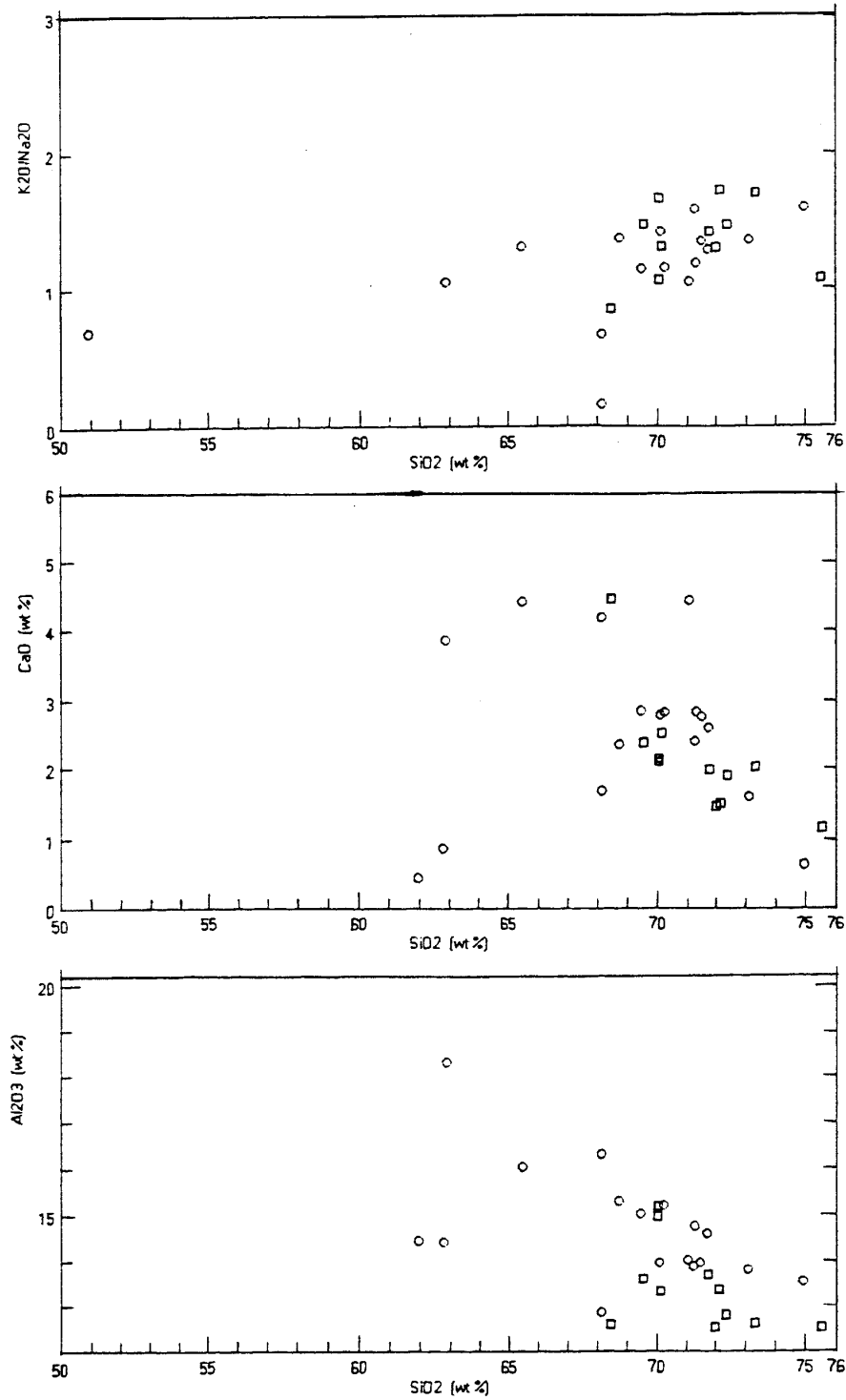
n.a = تجزیه نشده

جدول ۴: نتایج تجزیه میکروپراب سه نمونه سنگ اسکارنی جنوب غرب یزد

نام دقیق کانی‌های فوق براساس فرمول ساختمانی و محاسبه کانیونها برای آمفیبولها بر مبنای ۲۴ اکسیژن، برای پیروکسنها بر مبنای ۶ اکسیژن، برای گرونا بر مبنای ۲۴ اکسیژن، برای میکاها بر مبنای ۲۴ اکسیژن و برای الیون بر مبنای ۴ اکسیژن بدست آمده است.

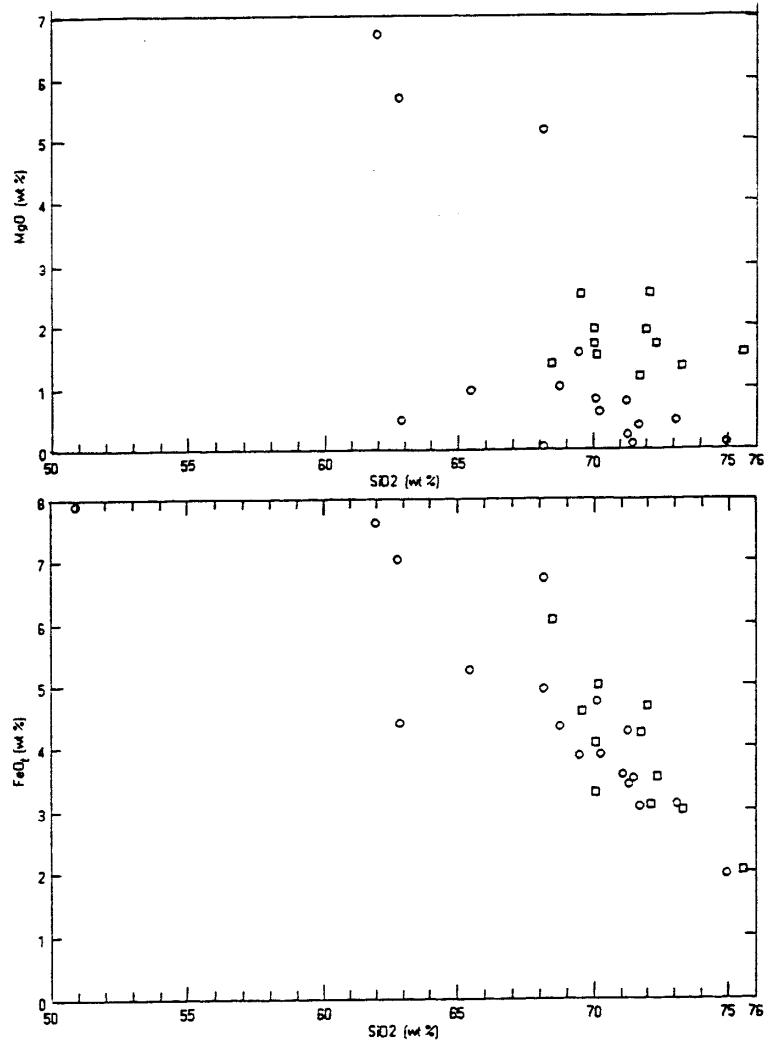
تغییرات عناصر در دو توده نفوذی مذکور نیز پدیده تفریق ماگمایی را تایید می‌نماید. تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی سنگهای مختلف توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه نسبت به یکدیگر (نمودارهای هارکر، شکل‌های ۳ و ۴) حکایت از آن دارد که تبلور کانی‌های فرومنیزین، از قبیل پیروکسن و آمفیبول، موجب تنزل MnO ، CaO ، FeO ، MgO ، TiO_2 و افزایش مقدار Al_2O_3 و عناصر آکالان (K_2O و Na_2O) در ماگمای باقیمانده شده و متعاقب آن تبلور پلاژیوکلاز باعث شده است که مقادیر CaO و Al_2O_3 نسبت به سیلیس در نمودارها کاهش قابل ملاحظه‌ای را نشان دهند. از نمودارهای فوق و مطالعه دقیق پتروگرافی چنین استنباط می‌شود که توده‌های نفوذی مزبور دچار پدیده تفریق از طریق تبلور بخشی شده‌اند. پراکندگی نقاط در نمودارها احتمالاً ناشی از ذوب سنگهای پوسته قاره‌ای توسط ماگمای گرانیتی است. بررسی نمودارهای عنکبوتی نشان می‌دهد که سنگهای منطقه از عناصر Ba ، K و Rb غنی شده و در عوض از عناصر Sr ، Nb و Ti تهی شده‌اند [۳۰]، [۲۷]. تغییرات شدید عناصری که گفتیم، بیانگر این است که توده‌های نفوذی مورد بحث احتمالاً مرتبط با مناطق فرورانش هستند. زیرا که در محیط‌های فرورانش رسوبات و مایعات همراه با آنها می‌توانند باعث غنی‌شدگی غیر عادی عناصر کمیاب شوند که خود نشان‌دهنده آلودگی با مواد پوسته‌ای در حاشیه قاره‌ها می‌تواند باشد؛ در حالیکه در محیط‌های MORB و ORG تغییرات عناصر این گونه نیست، و یا اینکه ممکن است پدیده‌های هضم و یا اختلاط در آن موثر بوده باشند. برای تشخیص گرانیت‌های نوع I و S و پراکندگی آنها

در ناحیه شیرکوه، کافی‌آباد و آدربلندان از هیستوگرامهای فراوانی $K(K+Na)$ [۱۱] و $Al(Na+K+Ca/2)$ [۱۸] استفاده شده است (شکل ۵).

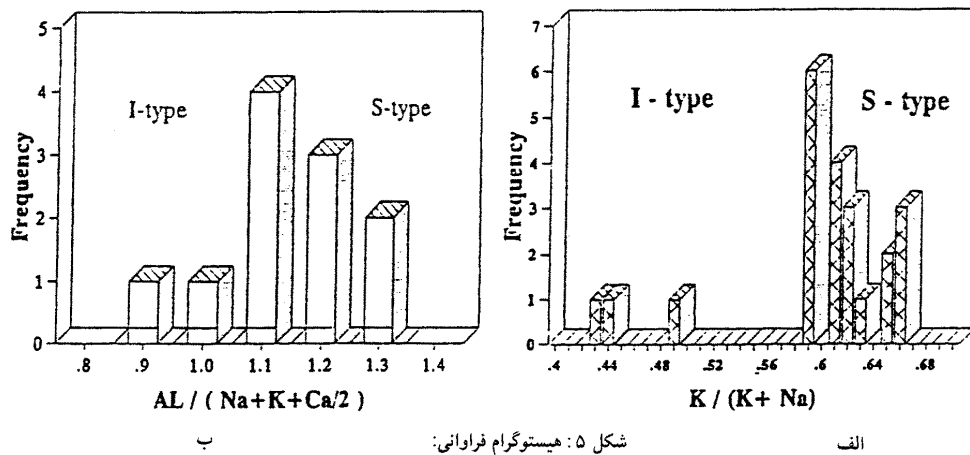


شکل ۳: نمودار تغییرات K_2O/Na_2O ، CaO و Al_2O_3 در مقابل SiO_2

□ : نمونه‌های شیرکوه ○ : نمونه‌های کافی‌آباد و آدر بلندان



شکل ۴: نمودار تغییرات MgO و FeO در مقابل SiO₂



ب

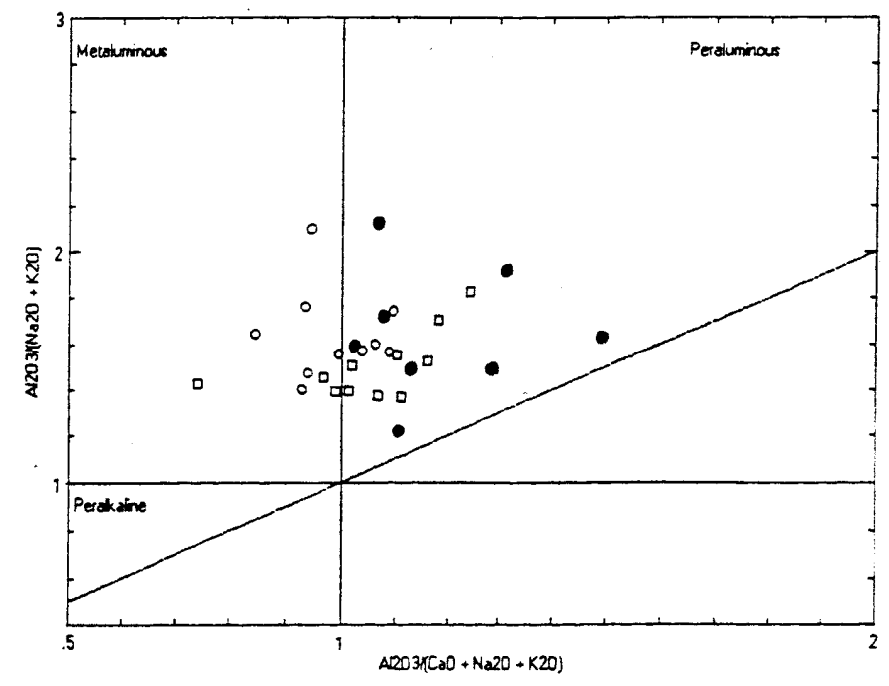
شکل ۵: هیستوگرام فراوانی:

الف

الف - $K/(K+Na)$ که گرانیت نوع I را از نوع S جدا می‌کند (چاپل و وایت، ۱۹۷۴)

ب - $Al/(Na+K+Ca/2)$ که جدا کننده گرانیت I از نوع S است (هاین و همکار، ۱۹۷۸)

بر اساس نمودارهای مانیاز و پیکولی [۲۱] که از تغییرات $Al_2O_3/(K_2O+Na_2O)$ در مقابل $Al_2O_3/(CaO+K_2O+Na_2O)$ استفاده شده سنگهای منطقه مورد مطالعه در محدوده پراآلمین و متالومین قرار می‌گیرند (شکل ۶).



فرمول کانی‌هایی که به روش میکرو پراب تجزیه شده‌اند (جدول ۴) به شرح زیر است:

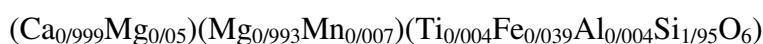
ترمولیت در اسکارن توده نفوذی کافی آباد (gk₁₇)



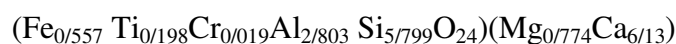
اوزیت در اسکارن توده نفوذی کافی آباد (gk₁₇)



دیوپسید در اسکارن توده نفوذی آدربلندان (AD₃₄)



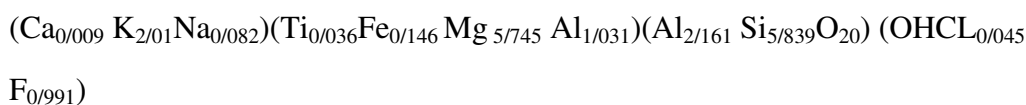
آندرادیت (AD₃₄)



الیون (gk₂₄)



که می‌توان آن را به صورت $[Mg_{1/92} Fe_{0/08} SiO_4]$ نوشت.

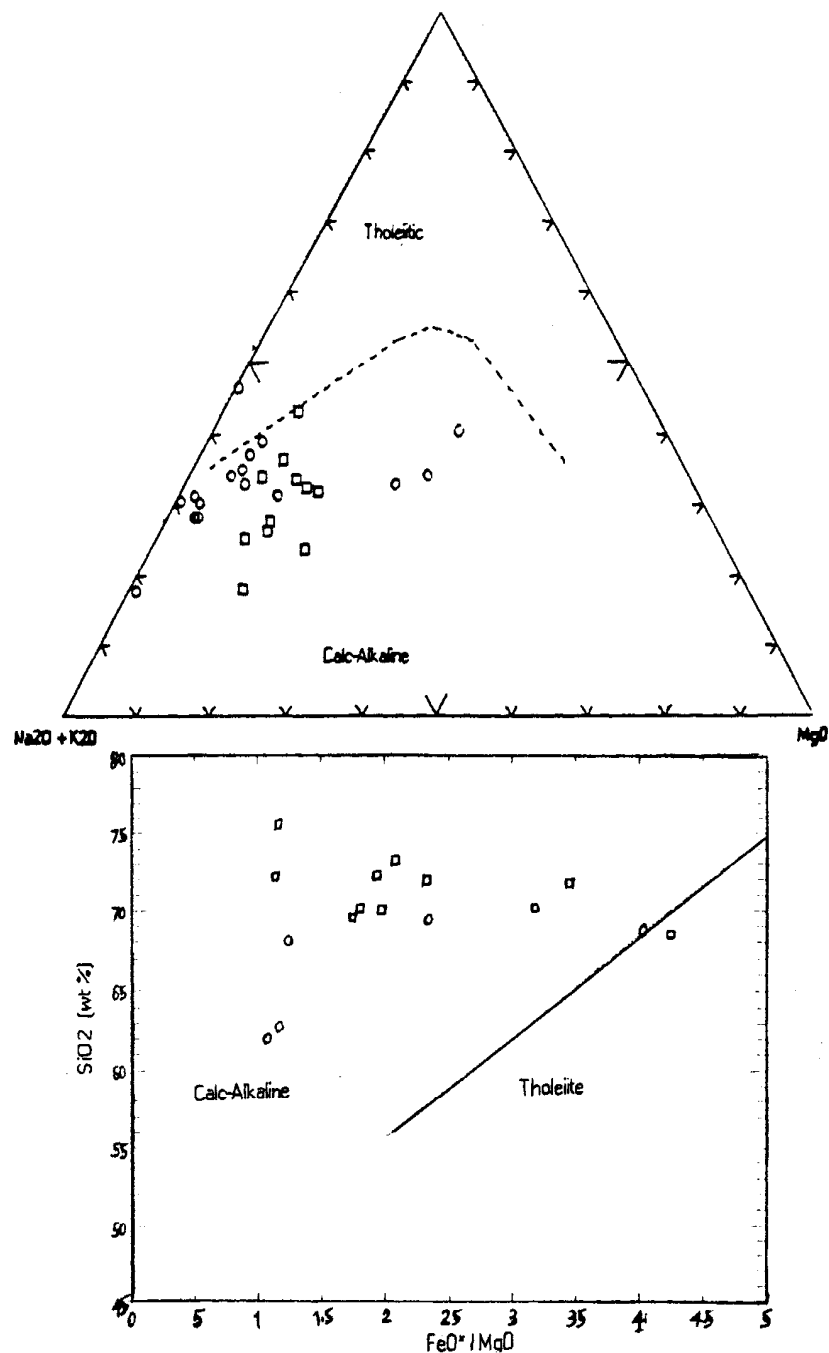
فلوگوپیت در سنگهای اسکارنی توده نفوذی کافی‌آباد [gk₂₄(1)]فلوگوپیت [gk₂₄(2)]

۴- تحولات پترولوژیکی

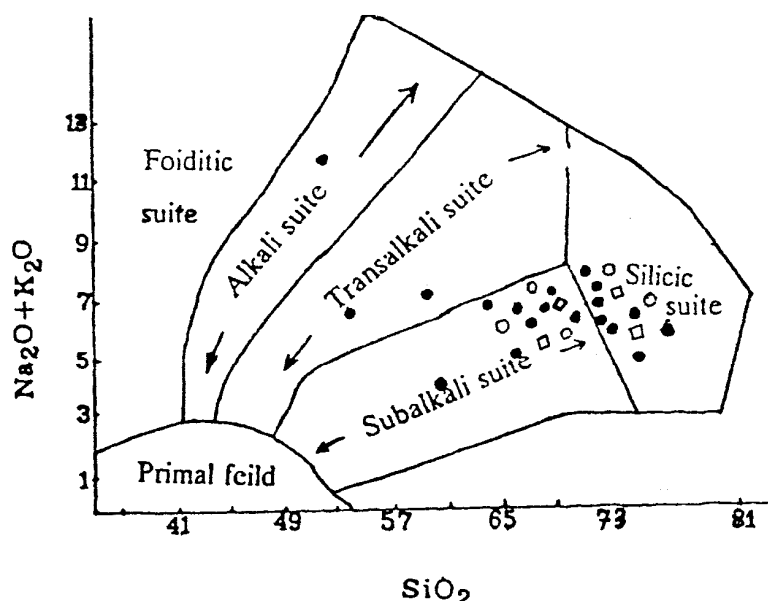
برای تشخیص و تفکیک توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی به طور کلی روشهای زیر به کار برده می‌شوند:

نسبت ایزوتوپی $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ، نمودارهای $\text{K}/(\text{K}+\text{Na})$ ، $\text{Al}(\text{Na}+\text{K}+\text{Ca}/2)$ ، $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O}$ [۳۰]،
 $(\text{Al}_2\text{O}_3+\text{CaO})/(\text{FeO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$ در مقابل $(\text{MgO}+\text{FeO}+\text{TiO}_2)/\text{SiO}_2$ [۱۰۰]،
 FeO^*/MgO در مقابل SiO_2 [۲۳]، $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ [۲۲] QAP و [۲۰] AFM]
 [۱۹]. بر اساس نمودارهای AFM و FeO^*/MgO در مقابل SiO_2 که نسبت‌های کالکوالکالن را از تولیتیک
 جدا می‌کند سنگهای ماگمایی منطقه مورد مطالعه در سری کالکوالکالن قرار می‌گیرند (شکل ۷).

بر اساس نمودار درصد وزنی $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{SiO}_2$ که توسط میدلموست [۲۲] ارائه گردیده است نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در محدوده ساب آکالن و سیلیسی قرار می‌گیرند (شکل ۸).



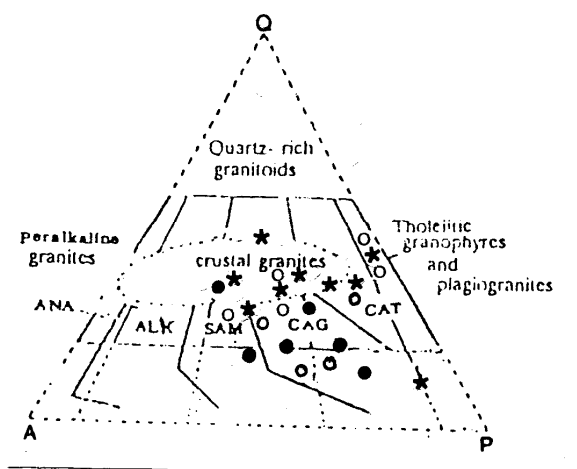
شکل ۷: الف: نمودار ایزوین و باراگار (۱۹۷۱) و (ب): میاشیرو (۱۹۷۴) که سری‌های کالکوآکالن و تولیت را از هم جدا می‌کند. نمونه‌های منطقه مورد مطالعه در هر دو نمودار خصوصیات کالکوآکالن را نشان می‌دهند.



شکل ۸: براساس نمودار میدلموست (۱۹۹۱) سنگهای ماگمایی جنوب غرب یزد در محدوده ساب آکالن و سیلیسی قرار می‌گیرند.

از نمودارهای دیگری که برای تمایز سری‌های گرانیتی استفاده می‌شود، نمودار Q.A.P [۲۰] است که محدوده‌های تونالیت یا ترانجومیت کالکوآکالن، گرانو دیوریت کالکو آکالن، مونزونیت ساب آکالن، آکالن پتاسیک و آکالی سدیک را از یکدیگر مجزا می‌سازد. تغییرات در طیف کالکوآکالن را می‌توان بر اساس سری‌های پلوتونیک در شیلی، پرو و باتولیت سیرانوادا مورد بررسی قرار داد. با توجه به نتایج تجزیه مودال، باتولیت شیرکوه و سایر توده‌های نفوذی در محدوده گرانیتوئیدهای کالکوآکالن و گرانیت‌های پوسته‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۹). ساده‌ترین تقسیم‌بندی ژنتیکی گرانیت‌ها را به دو گروه I (منیتیتی) و گروه S (سری ایلمنیتی) تقسیم می‌کند [۱۶] وایت و چاپل [۱۱] و هاین و همکاران [۱۸] برای تفکیک گرانیتوئیدهای نوع I و S مشخصات جدیدی را عنوان نمودند به نظر آنها گرانیت‌های نوع S عموماً به صورت توده‌های نفوذی کوچک و فاقد سنگهای آتشفشانی مرتبط با آنها است و طیف ترکیبی آنها از دیوریت (۲۰٪)، گرانودیوریت (۱۸٪) تا گرانیت (۸۰٪) تغییر می‌یابد، چنانکه گرانیتوئیدهای نوع I معمولاً به صورت توده‌های نفوذی بزرگ و همراه با سنگهای آتشفشانی مرتبط با آنها است و طیف ترکیبی آنها از دیوریت (۱۵٪)، گرانودیوریت (۵۰٪) تا گرانیت (۳۵٪) تغییر پذیر است.

در محدوده مورد مطالعه باتولیت شیرکوه بیشتر با نوع S و توده‌های نفوذی کافی‌آباد و آدربلندان با نوع I مطابقت دارند. برای بررسی شرایط دما و فشار تشکیل توده‌های نفوذی جنوب غرب یزد از نمودارهای دوتایی سیستم آلیت و ارتوز [۲۹] استفاده شده (شکل ۱۰) و با توجه به حضور گسترده میکروپرتیت در باتولیت گرانیتوئیدی شیرکوه و پرتیت آنتی‌پرتیت در توده‌های نفوذی کافی‌آباد و آدربلندان فشار بخار آب حاکم بر تشکیل

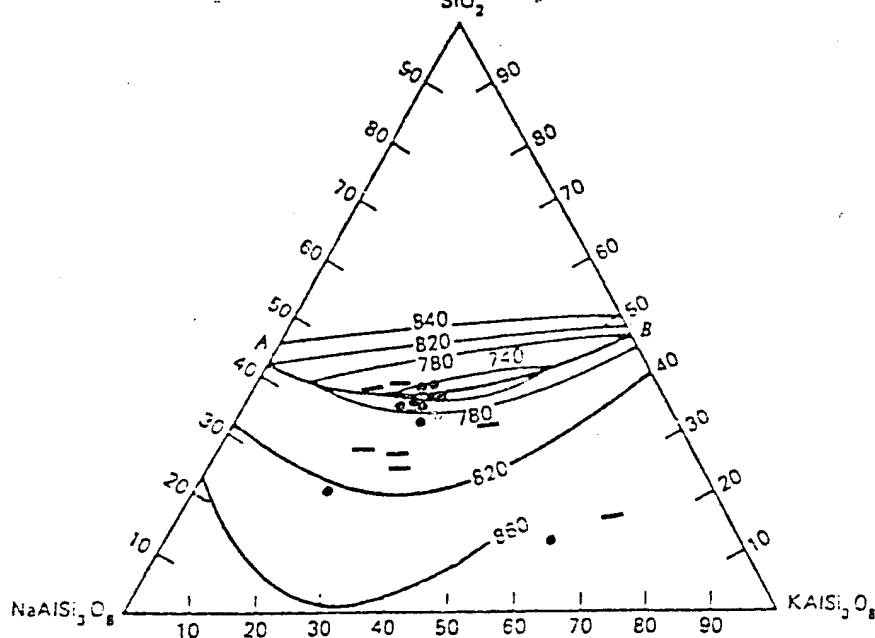


شکل ۹: نمودار مودال QAP (لامر و بودن، ۱۹۸۲) برای تمایز سری‌های مختلف گرانیتی و موقعیت سنگهای گرانیتی توده‌های نفوذی جنوب غرب یزد. CAT: تونالیت یا ترونجومیت کالکوآلکان CAG: گرانودیوریت کالکوآلکان SAM: مونوزیت ساب آلکان ANA: آلکان پتاسیک ALK: آلکان سدیگ

○ آدربلدان ● کافی‌آباد ★ شیرکوه

توده‌های نفوذی بین ۱-۲ کیلو بار فرض شده است. علاوه بر این مورد کانی شناسی دقیق سنگها نیز موید این مطلب است، زیرا که در هاله دگرگونی ایجاد شده در اطراف توده‌های نفوذی دیوپسید که حرارت تشکیل بیش از 500°C را نشان می‌دهد وجود دارد (تجزیه سه نمونه سنگ اسکارنی به روش میکروپراب). با توجه به اینکه توده‌های پلوتونیک می‌توانند حداکثر ۶۰ تا ۷۰ درصد حرارت خود را به نزدیک‌ترین سنگهای مجاور منتقل کنند [۸] از این رو، حرارتی در حدود 750°C و حتی بیشتر برای توده‌های گرانودیوریتی تخمین زده می‌شود. در بررسی‌های پترولوژیکی نوع بافت سنگها نیز می‌تواند به عنوان کلیدی برای شناخت منشا ماگما موثر باشد. در سنگهای منطقه مورد مطالعه بافت‌های پرتیت، آنتی‌پرتیت و گرافیک (گرانوفیر) به فراوانی مشاهده می‌شود. وجود بافت‌های پرتیتی و آنتی‌پرتیتی نشانه تبلور سنگ تحت فشار بخار آب کم (زیر ۲Kb) در سیستم دوتایی آل بیت و ارتوز بوده است به چنین گرانیت‌هایی، گرانیت هیبرسالوس گفته می‌شود. بافت‌های گرانوفیری موجود حاصل رشد همزمان کوارتز و فلدسپات آلکان از مایعی که ترکیب مشابه نقطه اوتکتیک یا خط کوتکتیک را دارد می‌باشند. [۲۲] کانی‌های سیلیکات آلومین موجود در گرانیت‌ها را بعنوان بلورهای بیگانه مشخص نموده و وجود آنها را به عنوان نشانه ذوب بخشی سنگهای پوسته‌ای می‌داند. پیچر [۲۵] وجود آلومینوسیلیکاتها از جمله سیلیماتیت در گرانیتوئیدها را بعنوان رستیت قلمداد می‌کند. شلی [۲۸] نیز عقیده دارد در سنگهای گرانیتی نوع S مواد رسینیتی به وفور یافت می‌شود. آندالوزیت و کوردیریت در گرانیتوئید شیرکوه از نوع اولیه هستند چون هر دو بر خلاف نوع دگرگونی فاقد ادخال‌های کربنی بوده و

بصورت شفاف دیده می‌شوند. بنابراین می‌توان نتیجه گرفته که این کانی‌ها بصورت اولیه از یک ماگمای پرآلمین متبلور شده‌اند. قبلاً تشکیل کوردریت‌های فاقد ایدخال از یک مذاب گرانیتی را گزارش کرده‌اند [۱۴].



شکل ۱۰: موقعیت سنگ‌های نفوذی جنوب غرب یزد و ارتباط آنها با ناحیه حرارت ذوب پایین سیستم سه‌تایی $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8\text{-KAlSi}_3\text{O}_8\text{-SiO}_2$ (تاتل و باون، ۱۹۵۸). سیستم تحت فشار بخار آب یک کیلو بار است.

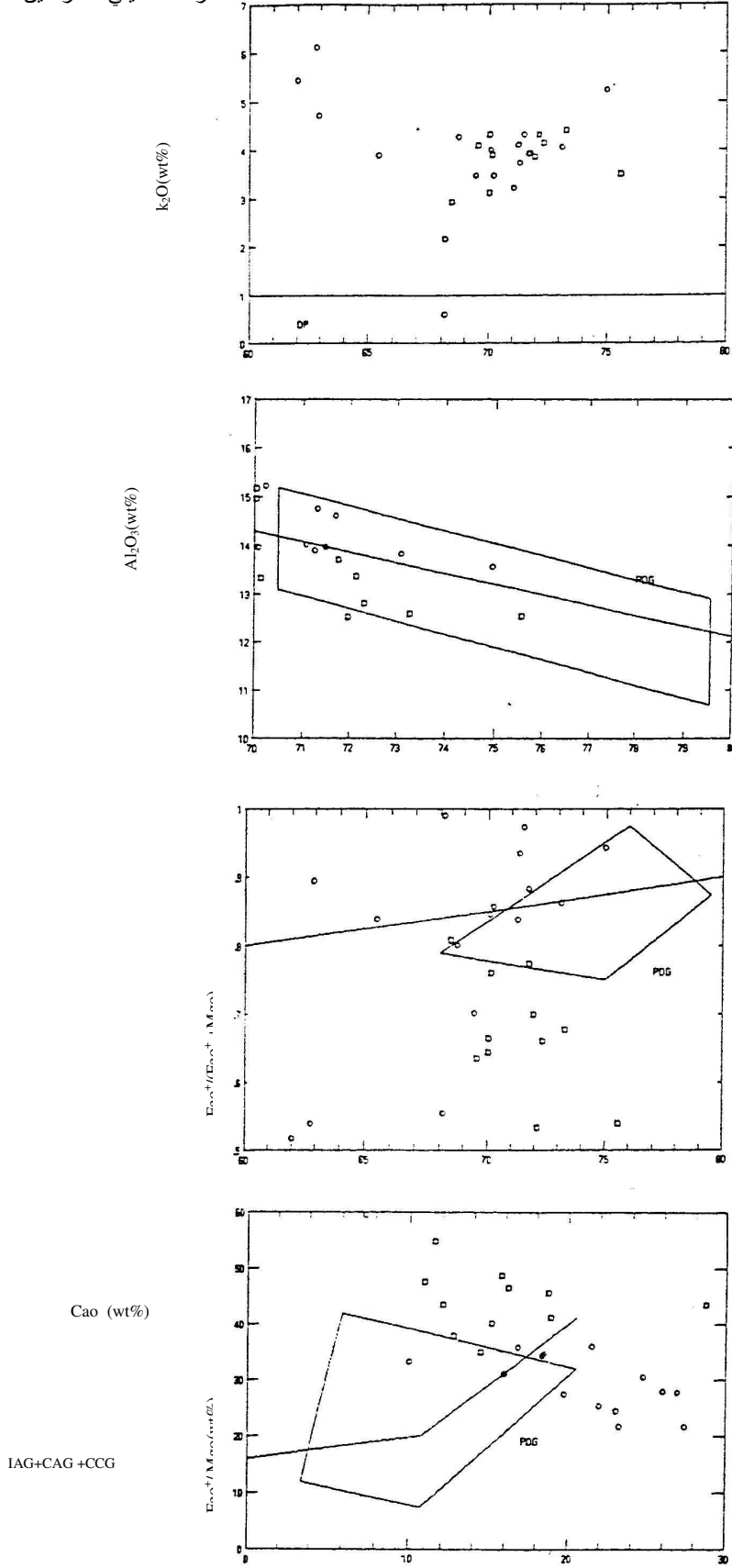
●: نمونه‌های کافی آباد - : نمونه‌های آدربلندان

۵ - موقعیت تکتونیکی:

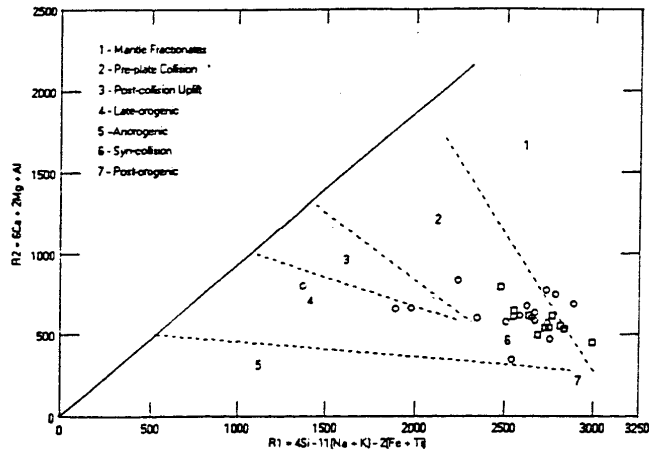
با استفاده از نمودارهای تشخیص محیط‌های تکتونیکی که توسط مانیار و پیکولی [۲۱] ارائه شده است به طور کلی گرانیتوئیدها در سه گروه CAG، CCG-1، IAG-۲ RRG و CEUG و POG-۳ قرار می‌گیرند چنانکه با استفاده از نمودارهای درصد وزنی $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ ، $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ، $\text{FeO}/(\text{FeO}+\text{MgO})$ در مقابل SiO_2 و FeO/MgO (شکل ۱۱) تعدادی از سنگ‌های گرانیتوئیدی منطقه را در محدوده POG باید دانست. نمودار درصد وزنی $\text{FeO}+\text{MgO}/\text{CaO}$ نیز نشان می‌دهد که گرانیتوئیدهای شیرکوه، کافی آباد و آدربلندان از نوع گرانیتوئیدهای پس از کوهزایی (PGO) هستند. در نمودار $\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$ ، Op معرف پلاژیوگرانیت‌های اقیانوسی است که تحت عنوان M نامگذاری شده است [۷]. نمودار باچلور و بودن [۱۰] گرانیتوئیدهای مورد نظر را از نوع همزمان با کوهزایی و بعد از کوهزایی معرفی می‌نماید (شکل ۱۲). علاوه بر این برای تشخیص محیط تکتونیکی گرانیت‌ها از عناصر کمیاب [۱۷] نیز می‌توان استفاده کرد.

عناصر کمیاب سنگ‌های ماگمایی جنوب غرب یزد با نمودارهای عنکبوتی مربوط به مناطق MORB، [۲۴] ORG و مناطق فرورانش (حاشیه فعال قاره) مقایسه شده است. این نمودارها دارای نقاط ماکزیمم و

می‌نیممی هستند که اختلاف بین آنها زیاد است و محیط‌های در ارتباط با فرورانش را نشان می‌دهند زیرا که رسوبات و مایعات همراه با آنها می‌توانند باعث غنی‌شدگی غیر عادی عناصر کمیاب شوند. این نمودارها غنی‌شدگی از عناصر Rb, K, Ba و تهی‌شدگی از Sr, Nb, Ti را نشان می‌دهند [۳۰]، [۲۷] در شکل ۱۳ این نمودارها عرضه شده است. علاوه بر هضم رسوبات مرتبط با صفحه فرورونده در مناطق فرورانش که می‌توانند باعث غنی‌شدگی غیر عادی عناصر کمیاب شوند پدیده‌های هضم یا اختلاط نیز شاید در مکانیسم‌های غنی‌شدگی و تهی‌شدگی موثر بوده‌اند.



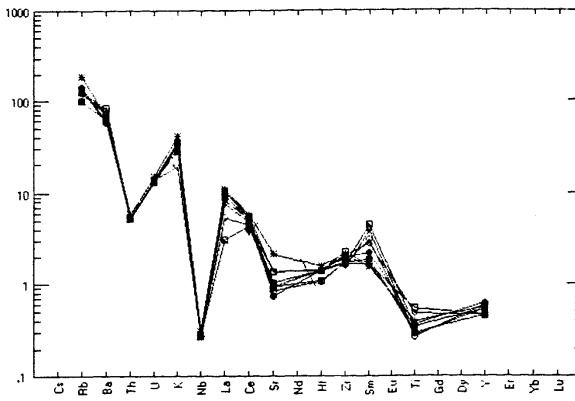
شکل ۱۱: نمودارهای مختلف مانیار و پیکولی (۱۹۸۹) برای تشخیص محیط تک‌تونیکی گرانیتوئیدها. بر اساس این نمودارها گرانیتوئیدهای جنوب غرب یزد از نوع گرانیتوئیدهای پس از کوهزایی هستند. (POG)



شکل ۱۲: نمودار ب

کوهزایی و بعد از کوهزایی

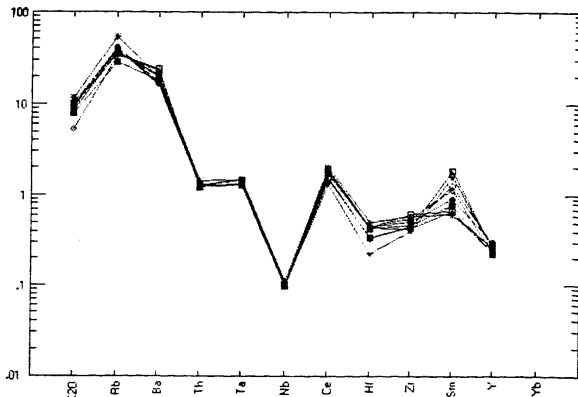
نوع همزمان با



شکل ۱۳: نمودار اسپا

می‌شود از Ba، Rb و K

ان. همانطوری که دیده



۶- نتیجه‌گیری:

از مطالعات صحرایی، آزمایشگاهی، پتروگرافی، ژئوشیمیایی، پترولوژی و زمین ساختمانی منطقه جنوب غرب یزد، به این نتایج رسیده ایم:

۱- قدیمی‌ترین سنگهای منطقه که در مجاورت باتولیت شیرکوه قرار دارد آهک جمال باسن پرمین است که حد تماس آن با گرانیت‌ها گسله است. مجاورت توده‌های نفوذی کافی‌آباد و آدربلندان با آهکهای کرتاسه منجر به پدیده اسکارن‌سازی شده است که عمده‌ترین کانی‌های آن عبارتند از دیوپسید، گرونا (آندرادیت)، فلوگوپیت، اسکاپولیت، تالک و سرپانتین.

۲- توده‌های نفوذی منطقه جنوب غرب یزد دارای ترم‌های سنگ‌شناسی گرانوئوریت، مونزوگرانیت سبینوگرانیت، آلکان و تونالیت می‌باشند. کانی‌های فرعی سنگها منیتیت، هماتیت، زیرکن، اسفن و آپاتیت هستند. بافت‌های عمده سنگها پرتیت، گرافیک و گرانولر می‌باشد.

۳- توده‌های گرانیتوئیدی منطقه بیشتر ماهیت کالکوالکان دارند.

۴- با توجه به کارهای آزمایشگاهی و آنالیزهای شیمیایی، توده‌های گرانیتوئیدی در طیف حرارتی 680°C تا 750°C و فشار بین ۱-۲ کیلو بار تشکیل شده‌اند.

۵- با توجه به داده‌های ژئوشیمیایی و پراکندگی در مقادیر Na_2O ، K_2O و CaO ، حضور گرانیت‌های آلکان و کالکو آلکان و شواهد هورنفلسی می‌توان چنین تصور نمود که در منطقه مورد مطالعه بیش از یک واقعه نفوذ و جایگزینی برای گرانیت‌ها رخ داده است. بعنوان مثال گرانیت شیرکوه بعد از تریاس بالایی و به احتمال زیاد در ژوراسیک میانی جایگزین شده است. سن مطلق ارائه شده بعد از تریاس بالایی و به احتمال زیاد ژوراسیک میانی جایگزین شده است. سن مطلق ارائه شده توسط فورستر [۱۵] و ریر و محافظ [۲۶] برای گرانیتوئید شیرکوه آن را به فاز کوهزایی سیمری پسین نسبت داده است. در حالی که توده‌های نفوذی کافی‌آباد و آدربلندان بدلیل دگرگونی آهکهای کرتاسه اطراف بعد از کرتاسه زیرین جایگزین شده و ممکن است در ارتباط با فازهای کوهزایی جوانتر باشند.

۶- دمای یکنواخت شدگی نسبتاً پایین کوارتز در سنگهای منطقه می‌تواند حاکی از عملکرد فاز دوتریک باشد. فراوانی میکا و آمفیبول این موضوع را تأیید می‌کند.

۷- با توجه به نمودارهای تشخیص محیط تکتونیکی گرانیت‌ها و خصوصیات شیمیایی و کانی‌شناسی گرانیتوئیدهای شیرکوه، کافی‌آباد و آدربلندان می‌توان آنها را جزو گرانیت‌های کوهزایی برخورد قاره‌ای دانست.

۸- از نظر پتانسیل اقتصادی باتولیت شیرکوه و توده‌های نفوذی کافی‌آباد و آدربلندان استعداد فوق‌العاده‌ای جهت استفاده سنگهای تزئینی داشته و بخش هوازده آن برای استخراج فلدسپات و سیلیس مناسب است. پگماتیت‌ها در ارتباط با توده‌های نفوذی خیلی کم بوده و فاقد ارزش اقتصادی هستند. ارزش اقتصادی منابع اسکارنی بایستی

مورد مطالعه بیشتری قرار گیرد. ضمناً کانی‌سازی آهن-مس-سرب - روی و کانی‌های غیر فلزی نظیر کائولینیت نیز مشاهده می‌شود. بر مبنای داده‌های ژئوشیمیایی و پایین بودن نسبت Rb/Sr می‌توان گفت که توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی جنوب غرب یزد حداقل از نظر قلع و تنگستن، تهی هستند. ولی برای بررسی پتانسیل سایر عناصر، انجام مطالعات ایزوتوپی و تعیین دقیق عناصر، انجام مطالعات ایزوتوپی و تعیین دقیق عناصر کمیاب لازم و ضروری است.

پاورقی

- | | |
|-----------------------|----------------------|
| 1- Spider diagram | 9- Hine et al |
| 2- Rollinson | 10- Maniar & Piccoli |
| 3- Reyre, D.& Mohafez | 11- Sylvester |
| 4- Forster | 12- Miyashiro |
| 5- Debon & Lefort | 13- Lameyre & Boden |
| 6- Shelly | 14- Irvine & Baragar |
| 7- Barker | 15- Auboin et al |
| 8- Chappell & White | |

منابع

- ۱- حسن نژاد، علی اکبر (۱۳۷۴)؛ بحثی در مورد پتروگرافی و ژئوشیمی باتولیت شیرکوه، دانشکده علوم پایه دامغان. (سمینار داخلی، ارتباط شخصی)
- ۲- خسرو تهرانی، خسرو؛ وزیري مقدم، حسین (۱۳۷۱)؛ خلاصه‌ای از چینه‌شناسی و جغرافیای دیرینه دوره کرتاسه در نواحی شیرکوه یزد، دانشگاه تهران. (مجموعه مقالات بررسی مسائل مناطق کویری و بیابانی ایران)
- ۳- درویش‌زاده، علی (۱۳۷۰). زمین‌شناسی ایران، چاپ اول، انتشارات نشر امروز
- ۴- زارعی سهامیه، رضا (۱۳۷۸). مطالعه ماگماتیسم جنوب غرب یزد (منطقه انار- عقدا). موضوع رساله دکترا دانشگاه تربیت معلم.
- ۵- کلانتری سرچشمه، محمدرضا (۱۳۷۵). پترولوژی و ژئوشیمی باتولیت گرانیتوئیدی شیرکوه یزد، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم.
- ۶- معین وزیري، حسین. دیباچه‌ای بر ماگماتیسم در ایران (۱۳۷۵)، انتشارات دانشگاه تربیت معلم.
- ۷- ولی زاده، محمد ولی (۱۳۷۱). پترولوژی تجربی و تکنیک کلی، جلد دوم، آندزیت‌ها و گرانیت‌ها، انتشارات دانشگاه تهران.
8. Aubouin, J., Brousse, R. & Lehman, J.P., 1975, *Precis de petrologie*, Tome 1, Bordas, Paris.
9. Barker, A. 1, 1994, *An Introduction to Metamorphism texture and microstructure*, Blackie, New York, 126 p.
10. Batchelor, R.A. & Bowden, p., 1985, *Petrogenetic interpretation of granitoids rocks series using multicationic parameters*, *Chem. Geol.*, 48:43-55.
11. Chappell, B. W. & A. J. R white, 1992, *I and S type granites in the lachland fold belt: Earth sci V*, 83 P. 1. 26.
12. Chappell, B.W., & White, A.J.R., 1974, *Two contrasting granite types, Pacific, Geol. V. 8, pp., 173-174.*
13. Debon, F., & Le Fort, P., 1983, *A chemical-mineralogical classification of common plutonic rocks and associations*, *R. soc. Edinb, Trans.* 73, pp, 135-149.
14. Deer, W.A., Howie, R.A., Zussman, J., 1992, *Rock-forming-minerals, Vol. 1B (sec. ed), Disilicates and Ring silicates*, Longman, New York, 629p.
15. Forster, H., 1978, *Continental drift in Iran in relation to the Afar structure*, in : A., Pilger & A., Rosler (eds.), *Afar between continental and oceanic rifting (vol. II)*, Stuttgart, 182-190.
16. Hall, A, 1996, *Igneous petrology*, longman scientific & technical.

17. Harris, N. B. W & pearce. J. A. Thindle, A. G, 1986, geochemical characteristics of collision zone magmatism, geo. soc, sps, pub: No, 19 pp: 67-81.
18. Hine,R.I.S.&Williams ,B.E.,Chappell, B.W., & White,A.J.R.,1978, Contrast between I & S type granitoids of the kosciusko batholith,J. of Geol. of the soci. Of Aus.,Vol.25,pp.,219-234.
19. Irvine, T. N. Baragar, W. R. A, 1971, A guide to the chemical classification of the common volcanic Rocks. Can. J. Earth sci. 8, pp. 523-548.
20. Lameyre,J.,& Bowden,P.,1982,Plutonic rock type series discrimination of various granitoids series and related rocks by their modal composition, J.Volcan, Geoth.,Res.,14,p.,169-186.
21. Maniar,P. Piccoli,O.,1989, tectonic discrimination of granitoids, geo, soc. of Am, Bull, vol. 1. 1 p. 635-643.
22. Middlemost, Eric. A. K, 1994, Naming materials in the magmas, Igneous Rocks system, Earth sci. Rev: 3-p215-224.
23. Miyashiro,A.,1974,Volcanic rock series in island areas and active continental margins ,Am.J. of sci.,274:321-355.
24. Pearce, A.J.,Harris, B.W.,& Trendle, A.G.,1984,Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks, dept. of earth sciences, the open university, Milton Keynes, England.
25. Pitcher, W. S., 1993, the nature and origin of granites, Blackie Academic & professional.
26. Reyer, D. & Mohafez, S., 1972, A first contribution of the NIOC-ERAP agreements to the knowledge of Iranian geology, edition, Technip: Paris, 58p.
27. Rollinson, H, 1993, using geochemical data evaluation, Interpretation, longman.
28. Shelley, D, 1993, Igneous and Metamorphic rocks under the microscope chapman and Hall, london.
29. Tuttle,O.F.,& Bowen, N.L.,1958,Origin of granite in the light of experimental studies in the system NaAlSi₃O₈-KAlSi₃O₈-SiO₂-H₂O,Geol.Soc.Am.Mem.74:1-153
30. Wilson, M, 1996, Igneous petrogenesis,A Global tectonic approach,unwin,London